

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-249545

(43)Date of publication of application : 05.09.2003

(51)Int.Cl.

H01L 21/68

H01L 21/02

H05B 3/10

H05B 3/20

H05B 3/74

(21)Application number : 2002-323014

(71)Applicant : IBIDEN CO LTD

(22)Date of filing : 07.02.2001

(72)Inventor : HIRAMATSU YASUJI
ITO YASUTAKA

(30)Priority

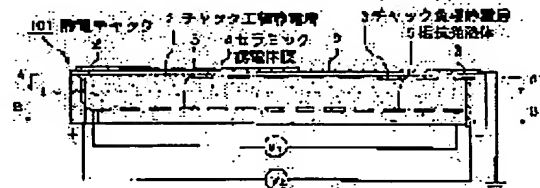
Priority number : 2000029279 Priority date : 07.02.2000 Priority country : JP

(54) CERAMIC SUBSTRATE FOR SEMICONDUCTOR MANUFACTURING AND INSPECTION APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a ceramic substrate which keeps a sufficiently high breakdown voltage, even though the diameter of the maximum pore is 50 μm or smaller, which is larger than conventional ones, possesses increased fracture toughness because it has pores, withstands thermal shocks, and possesses reduced warping at high temperatures.

SOLUTION: This ceramic substrate is constituted by forming an electric conductor on the surface of or inside the ceramic substrate, wherein the ceramic substrate is composed of oxygen-containing nitride ceramic, and the diameter of the maximum pore is 50 μm or smaller.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-249545

(P2003-249545A)

(43) 公開日 平成15年9月5日(2003.9.5)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード*(参考)
H 0 1 L 21/68		H 0 1 L 21/68	R 3 K 0 3 4
21/02		21/02	Z 3 K 0 9 2
H 0 5 B 3/10		H 0 5 B 3/10	C 5 F 0 3 1
3/20	3 9 3	3/20	3 9 3
3/74		3/74	
		審査請求 未請求 請求項の数 8	O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2002-323014(P2002-323014)
 (62) 分割の表示 特願2001-30991(P2001-30991)の分割
 (22) 出願日 平成13年2月7日(2001.2.7)
 (31) 優先権主張番号 特願2000-29279(P2000-29279)
 (32) 優先日 平成12年2月7日(2000.2.7)
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000000158
 イビデン株式会社
 岐阜県大垣市神田町2丁目1番地
 (72) 発明者 平松 靖二
 岐阜県揖斐郡揖斐川町北方1-1 イビデ
 ン株式会社内
 (72) 発明者 伊藤 康隆
 岐阜県揖斐郡揖斐川町北方1-1 イビデ
 ン株式会社内
 (74) 代理人 100086586
 弁理士 安富 康男

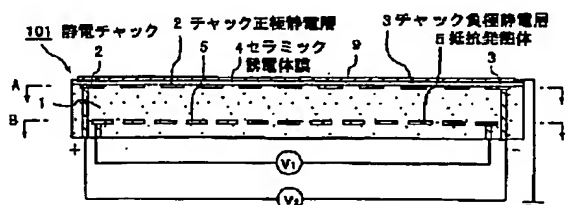
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体製造・検査装置用セラミック基板

(57) 【要約】

【課題】 最大気孔の気孔径が50μm以下と従来よりも大きくても、耐電圧を十分に大きく保つことができ、また、気孔を有するため破壊靱性値を大きくすることができ、熱衝撃に耐えられ、さらに、高温での反り量も小さくすることができるセラミック基板を提供すること。

【解決手段】 セラミック基板の表面または内部に導電体が形成されてなるセラミック基板であって、上記セラミック基板は、酸素を含有する窒化物セラミックからなるとともに、最大気孔の気孔径が50μm以下であることを特徴とするセラミック基板。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 セラミック基板の表面または内部に導電体が形成されてなるセラミック基板であって、前記セラミック基板は、酸素を含有する非酸化物セラミックからなるとともに、最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする半導体製造・検査装置用セラミック基板。

【請求項 2】 前記非酸化物セラミックは、窒化物セラミックである請求項 1 に記載の半導体製造・検査装置用セラミック基板。

【請求項 3】 前記非酸化物セラミックは、炭化物セラミックである請求項 1 に記載の半導体製造・検査装置用セラミック基板。

【請求項 4】 $0.05\sim 10$ 重量%の酸素を含有してなる請求項 1～3 のいずれか 1 に記載の半導体製造・検査装置用セラミック基板。

【請求項 5】 気孔率が 5%以下である請求項 1～4 のいずれか 1 に記載の半導体製造・検査装置用セラミック基板。

【請求項 6】 $100\sim 700^\circ\text{C}$ の温度領域で使用される請求項 1～5 のいずれか 1 に記載の半導体製造・検査装置用セラミック基板。

【請求項 7】 厚さ 2.5mm 以下、直径 200mm 以上である請求項 1～6 のいずれか 1 に記載の半導体製造・検査装置用セラミック基板。

【請求項 8】 半導体ウエハのリフトピンを挿入する貫通孔を複数有してなる請求項 1～7 のいずれか 1 に記載の半導体製造・検査装置用セラミック基板。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、主に半導体産業において使用される半導体製造・検査装置用セラミック基板に関し、特に、耐電圧が高く、静電チャックに使用した場合にはシリコンウエハの吸着能力に優れるとともに、ホットプレート（セラミックヒータ）およびウエハブローパ用セラミック板として使用した場合には昇温降温特性にも優れるセラミック基板に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体は種々の産業において必要とされる極めて重要な製品であり、半導体チップは、例えば、シリコン単結晶を所定の厚さにスライスしてシリコンウエハを作製した後、このシリコンウエハに複数の集積回路等を形成することにより製造される。

【0003】 この半導体チップの製造工程においては、静電チャック上に載置したシリコンウエハに、エッチング、CVD 等の種々の処理を施して、導体回路や素子等を形成する。その際に、デポジション用ガス、エッチング用ガス等として腐食性のガスを使用するため、これらのガスによる腐食から静電電極層を保護する必要があること、また、吸着力を誘起するために静電電極層は、通

常、セラミック誘電体膜等により被覆されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 このセラミック誘電体膜として、従来から窒化物セラミックが使用されているが、従来は、酸化物等を加えずに焼成を行って誘電体膜を形成していたため、誘電体膜の内部に形成される気孔は殆どが連通しており、また、開気孔も多かった。このような気孔が存在すると、高温時に誘電体層の体積抵抗率が減少すると、電圧印加によって気孔中の空気を電子が飛跳しやすくなり、いわゆるスパークを起こしてしまうため、最大気孔の気孔径を小さくしないと、セラミック誘電体膜の耐電圧を高く保つことが難しいという問題があった。

【0005】 例えば、特開平 5-8140 号公報には、最大気孔の気孔径が $5\mu\text{m}$ 以下と気孔径を極めて小さくした窒化物を使用した静電チャックが開示されている。このような問題は、静電チャックに限らず、セラミック基板の表面または内部に導体が形成されている半導体製造・検査装置用セラミック基板に見られることが判った。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明者らは、上記課題を解決するために鋭意研究した結果、窒化物セラミックに酸化物を添加して焼成することにより、焼結を進行させることができ、連通した気孔が殆どなくなり、独立した気孔が形成され、また、酸化物をセラミック粒子境界に存在させることにより、気孔径が大きくなっても、高温での耐電圧を確保できることを新規に知見するに至った。

【0007】 すなわち本発明は、セラミック基板の表面または内部に導電体が形成されてなるセラミック基板であって、上記セラミック基板は、酸素を含有する非酸化物セラミックからなるとともに、最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする半導体製造・検査装置用セラミック基板である。

【0008】 上記非酸化物セラミックは、窒化物セラミック、または、炭化物セラミックであることが好ましい。上記セラミック基板は、 $0.05\sim 10$ 重量%の酸素を含有していることが好ましい。上記セラミック基板は、気孔率が 5%以下であることが好ましい。上記セラミック基板は、 $100\sim 700^\circ\text{C}$ の温度領域で使用されることが好ましい。上記セラミック基板は、厚さ 2.5mm 以下、直径 200mm 以上であることが好ましい。上記セラミック基板は、半導体ウエハのリフトピンを挿入する貫通孔を複数有してなることが好ましい。

【0009】

【発明の実施の形態】 本発明の半導体製造・検査装置用セラミック基板は、セラミック基板の表面または内部に導電体が形成されてなるセラミック基板であって、上記セラミック基板は、酸素を含有する非酸化物セラミック

からなるとともに、最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0010】本発明のセラミック基板では、気孔が全く存在しないか、気孔が存在する場合はその最大気孔の気孔径は $50\mu\text{m}$ 以下である。気孔が存在しない場合は、高温での耐電圧が特に高くなり、逆に気孔が存在する場合は、破壊靱性値が高くなる。このためどちらの設計にするかは、要求特性を考慮して決定すればよい。気孔の存在によって破壊靱性値が高くなる理由は明確ではないが、クラックの伸展が気孔によって止められるからであると推定している。

【0011】本発明のセラミック基板では、酸素を含有する窒化物セラミックまたは炭化物セラミックを使用することが好ましい。酸素を含有することで焼結を進行させることができ、連通した気孔が殆どなくなり、独立した気孔が形成されるため、腐食性ガスが導電体を浸食することがないからである。また、独立気孔の方が連通気孔よりも、気孔内を電子が飛跳しにくくなるからである。さらに、酸化物をセラミック粒子境界に存在させることにより、気孔径が大きくなっても、高温での耐電圧を確保することができる。

【0012】本発明のセラミック基板では、最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ 以下であることが必要である。最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ を越えると、 $100\sim 700^\circ\text{C}$ 、特に 200°C 以上での高温での耐電圧特性を確保できなくなるからである。また、最大気孔の気孔径は、 $10\mu\text{m}$ 以下が望ましい。 $100\sim 700^\circ\text{C}$ 、特に 200°C 以上での反り量が小さくなるからである。

【0013】気孔率や最大気孔の気孔径は、焼結時の加圧時間、圧力、温度で調整するが、窒化物セラミックに対してはSiCやBNなどの添加物で調整する。SiCやBNは焼結を阻害するため、気孔を導入させることができるからである。

【0014】最大気孔の気孔径の測定は、試料を5個用意し、その表面を鏡面研磨し、 2000 から 5000 倍の倍率で表面を電子顕微鏡で10箇所撮影することにより行う。そして、撮影された写真で最大の気孔径を選び、50ショットの平均を最大気孔の気孔径とした。

【0015】上記セラミック基板中には $0.05\sim 10$ 重量%、特に望ましくは、 $0.1\sim 5$ 重量%の酸素を含有してなることが望ましい。 0.1 重量%未満では、耐電圧を確保することができない場合があり、逆に5重量%を超えると酸化物の高温耐電圧特性の低下により、耐電圧はやはり低下してしまう場合があるからである。また、酸素量が5重量%を超えると熱伝導率が低下して昇温降溫特性が低下する場合があるからである。

【0016】また、上記セラミック基板は、気孔率が5%以下であることが望ましい。5%を超えると、気孔数が増え、また、気孔径が大きくなりすぎ、その結果、気孔同士が連通しやすくなり、耐電圧が低下してしまうか

らである。なお、上記気孔率は、アルキメデス法により測定する。焼結体を粉碎して有機溶媒中あるいは水銀中に粉碎物を入れて体積を測定し、粉碎物の重量と体積から真比重を求め、真比重と見かけの比重から気孔率を計算するのである。

【0017】上記セラミック基板は、 $100\sim 700^\circ\text{C}$ の温度領域で使用されることが望ましい。このような温度領域では、耐電圧が低下してしまうため、本発明の構成が特に有利だからである。上記セラミック基板は、 $100\sim 700^\circ\text{C}$ での反り量が、小さいことが望ましい。上記セラミック基板をヒータや静電チャックに使用した場合に、半導体ウエハを均一に加熱することができるからである。反り量が大きい場合、半導体ウエハがヒータの加熱面に密着せず、半導体ウエハを均一に加熱できなかったり、半導体ウエハと加熱面との間を離間して加熱する場合には、半導体ウエハと加熱面との距離が不均等になり、半導体ウエハを均一に加熱できないからである。なお、セラミック基板を $100\sim 700^\circ\text{C}$ に昇温して、常温(25°C)に戻した場合の反り量(即ち、昇温前後の反り量の差)は、 $7\mu\text{m}$ 以下が望ましい。

【0018】本発明のセラミック基板は、半導体製造・検査用で使用でき、静電チャック、ホットプレート(セラミックヒータ)、ウエハブローパ用セラミック板(以下、単にウエハブローパという)などに使用することができる。

【0019】本発明のセラミック基板は、その厚さは、 50mm 以下、特に 25mm 以下が望ましい。特にセラミック基板の厚さが 25mm を超えると、セラミック基板の熱容量が大きくなり、特に温度制御手段を設けて加熱、冷却すると、熱容量の大きさに起因して温度追従性が低下してしまうからである。また、本発明のセラミック基板が解決する気孔の存在に起因する反りの問題は、厚さが 25mm を超えるような厚いセラミック基板では発生しにくいからである。特に 5mm 以下が最適である。なお、厚みは、 1mm 以上が望ましい。

【0020】本発明のセラミック基板の直径は 200mm 以上が望ましい。特に12インチ(300mm)以上であることが望ましい。次世代のシリコンウエハの主流となるからである。また、本発明が解決する温度が高い領域での反りの問題は、直径が 200mm 以下のセラミック基板では発生しにくいからである。

【0021】上記セラミック基板は、半導体ウエハのリフタピンを挿入する貫通孔を複数有してなることが望ましい。貫通孔の存在により、特に高温でヤング率が低下した場合に、加工時のひずみが開放されて反りが発生しやすいからであり、本発明が最も効果を発揮する構造であると考えられる。

【0022】本発明のセラミック基板を構成する窒化物セラミックとしては、金属窒化物セラミック、例えば、窒化アルミニウム、窒化ケイ素、窒化ホウ素、窒化チタ

10

20

30

40

50

ン等が挙げられる。

【0023】本発明のセラミック基板においては、セラミック基板中に焼結助剤を含有することが望ましい。焼結助剤としては、アルカリ金属酸化物、アルカリ土類金属酸化物、希土類酸化物を使用することができ、これらの焼結助剤のなかでは、特に CaO 、 Y_2O_3 、 Na_2O 、 Li_2O 、 Rb_2O が好ましい。また、アルミナを使用してもよい。これらの含有量としては、0.1～20重量%が望ましい。

【0024】本発明のセラミック基板においては、セラミック基板中に5～5000ppmのカーボンを含んでいることが望ましい。カーボンを含ませることにより、セラミック基板を黒色化することができ、セラミックヒータとして使用する際に輻射熱を充分に利用することができるからである。カーボンは、非晶質のものであっても、結晶質のものであってもよい。非晶質のカーボンを使用した場合には、高温における体積抵抗率の低下を防止することができ、結晶質のものを使用した場合には、高温における熱伝導率の低下を防止することができるからである。従って、用途によっては、結晶質のカーボンと非晶質のカーボンの両方を併用してもよい。また、カーボンの含有量は、50～2000ppmがより好ましい。

【0025】セラミック基板にカーボンを含ませる場合には、その明度がJIS Z 8721の規定に基づく値でN6以下となるようにカーボンを含ませることが望ましい。この程度の明度を有するものが輻射熱量、隠蔽性に優れるからである。ここで、明度のNは、理想的な黒の明度を0とし、理想的な白の明度を10とし、これらの黒の明度と白の明度との間で、その色の明るさの知覚が等歩度となるように各色を10分割し、N0～N10の記号で表示したものである。実際の明度の測定は、N0～N10に対応する色票と比較して行う。この場合の小数点1位は0または5とする。

【0026】なお、本発明のセラミック基板では、シリコンウエハをセラミック基板のウエハ載置面に接触させた状態で載置するほか、シリコンウエハをリフターピンなどで支持し、図13に示すようにセラミックス基板との間に一定の間隔を保って保持する場合もある。図13は、本発明のセラミック基板の一例である、セラミックヒータを模式的に示した、部分拡大断面図である。

【0027】図13では、貫通孔95にリフターピン96が挿通されてシリコンウエハ99を保持している。リフターピン96を上下することにより、搬送機からシリコンウエハ99を受け取ったり、シリコンウエハ99をセラミック基板91上に載置したり、シリコンウエハ99を支持したまま加熱したりできる。また、セラミック基板91の底面91aには、発熱体92が形成され、その発熱体92の表面には金属被覆層92aが設けられている。また、有底孔94が設けられているが、ここには

熱電対を挿入する。シリコンウエハ99は、ウエハ加熱面91b側で加熱される。なお、本発明の半導体製造・検査装置用セラミック基板を、セラミックヒータに使用する場合は、半導体ウエハと加熱面を離間させることができる。離間距離は50～5000 μm が望ましい。また、このように離間させる場合には、特に本発明は有効である。セラミック基板の高温での反り量が小さく、半導体ウエハと加熱面との距離が均一になるからである。

【0028】本発明のセラミック基板が、ホットプレート（セラミックヒータ）として使用される場合は、導電体は、発熱体であり、0.1～100 μm 程度の金属層であってもよく、発熱線でもよい。また、静電チャックとして使用される場合は、導電体は静電電極であり、RF電極や発熱体が静電電極の下部であって、セラミック基板内に導電体として形成されていてもよい。さらに、ウエハブローバとして使用される場合は、表面に導電体としてチャックトップ導体層が形成されており、内部にはガード電極、グランド電極が導電体として形成されている。また、本発明のセラミック基板は、100℃以上、望ましくは200℃以上で使用されることが最適である。

【0029】以下、ホットプレート機能を備えた静電チャック、ウエハブローバを例にして本発明を説明する。

【0030】本発明に係る静電チャックは、セラミック基板上に静電電極が形成され、上記静電電極を被覆するセラミック誘電体膜が酸素を含有する非酸化物セラミック、例えば窒化物セラミック、炭化物セラミックからなり、また、気孔率が5%以下であり、最大気孔の気孔径が50 μm 以下であるため、この誘電体膜中の気孔は、お互いに独立した気孔により構成されている。従って、耐電圧を低下させるガス等がセラミック誘電体膜を透過して静電電極を腐食させたり、高温でもセラミック誘電体膜の耐電圧が低下することがない。また、セラミック誘電体膜の厚さも50～5000 μm とすることで、チャック力を低下させずに十分な耐電圧を確保できる。

【0031】図1は、本発明のセラミック基板の一実施形態である静電チャックを模式的に示した縦断面図であり、図2は、図1に示した静電チャックにおけるA-A線断面図であり、図3は、図1に示した静電チャックにおけるB-B線断面図である。

【0032】この静電チャック101では、平面視円形状のセラミック基板1の表面に、チャック正極静電層2とチャック負極静電層3とからなる静電電極層が形成され、この静電電極層を被覆するように、酸素を含有する窒化物セラミックからなるセラミック誘電体膜4が形成されている。また、静電チャック101上には、シリコンウエハ9が載置され、接地されている。

【0033】図2に示したように、チャック正極静電層2は、半円弧状部2aと櫛歯部2bとからなり、チャック負極静電層3も、同じく半円弧状部3aと櫛歯部3b

とからなり、これらのチャック正極静電層 2 とチャック負極静電層 3 とは、櫛歯部 2 b、3 b を交差するように対向して配置されており、このチャック正極静電層 2 およびチャック負極静電層 3 には、それぞれ直流電源の+側と-側とが接続され、直流電圧 V_2 が印加されるようになっている。

【0034】また、セラミック基板 1 の内部には、シリコンウエハ 9 の温度をコントロールするために、図 3 に示したような平面視同心円形状の抵抗発熱体 5 が設けられており、抵抗発熱体 5 の両端には、外部端子ピン 6 が接

続、固定され、電圧 V_1 が印加されるようになっている。図 1、2 には示していないが、このセラミック基板 1 には、図 3 に示したように、測温素子を挿入するための有底孔 11 とシリコンウエハ 9 を支持して上下させるリフターピン（図示せず）を挿通するための貫通孔 12 が形成されている。なお、抵抗発熱体 5 は、セラミック

基板の底面に形成されていてもよい。

【0035】この静電チャック 101 を機能させる際には、チャック正極静電層 2 とチャック負極静電層 3 とに直流電圧 V_2 を印加する。これにより、シリコンウエハ 9 は、チャック正極静電層 2 とチャック負極静電層 3 との静電的な作用によりこれらの電極にセラミック誘電体

膜 4 を介して吸着され、固定されることとなる。このようにしてシリコンウエハ 9 を静電チャック 101 上に固定させた後、このシリコンウエハ 9 に、CVD 等の種々の処理を施す。

【0036】本発明に係る静電チャックは、例えば、図 1～3 に示したような構成を有するものである。以下において、上記静電チャックを構成する各部材、および、本発明に係る静電チャックの他の実施形態について、順次、詳細に説明していくことにする。

【0037】本発明に係る静電チャックで使用されるセラミック誘電体膜は、酸素を含有する窒化物セラミックからなることが好ましく、最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ 以下である。また、その厚さは $50\sim 1500\mu\text{m}$ であり、気孔率は 5% 以下であることが望ましい。

【0038】上記窒化物セラミックとしては、金属窒化物セラミック、例えば、窒化アルミニウム、窒化ケイ素、窒化ホウ素、窒化チタン等が挙げられ、これらのなかでは、窒化アルミニウムが最も好適である。耐電圧が

高く、熱伝導率も $180\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ と最も高いからである。

【0039】上記窒化物セラミックは、酸素を含有している。このため、窒化物セラミックは、焼結が進行しやすくなり、気孔を含んでいる場合にも、この気孔は独立した気孔となり、従って、上述したような理由により耐電圧が向上する。

【0040】上記窒化物セラミックに酸素を含有させるため、通常、窒化物セラミックの原料粉末を酸素中または空気中で加熱するか、窒化物セラミックの原料粉末中

に金属酸化物を混合して焼成を行う。上記金属酸化物としては、例えば、イットリア (Y_2O_3)、アルミナ (Al_2O_3)、酸化ルビジウム (Rb_2O)、酸化リチウム (Li_2O)、炭酸カルシウム (CaCO_3) 等が挙げられる。これらの金属酸化物の添加量は、窒化物セラミック 100 重量部に対して、0.1～10 重量部が好ましい。

【0041】上記セラミック誘電体膜の気孔率は 5% 以下であることが望ましい。また、その厚さが $50\sim 5000\mu\text{m}$ であり、最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。上記セラミック誘電体膜の厚さが $50\mu\text{m}$ 未満であると、膜厚が薄すぎるために十分な耐電圧が得られず、シリコンウエハを載置し、吸着した際にセラミック誘電体膜が絶縁破壊する場合があります。一方、上記セラミック誘電体膜の厚さが $5000\mu\text{m}$ を超えると、シリコンウエハと静電電極との距離が遠くなるため、シリコンウエハを吸着する能力が低くなってしま

う。セラミック誘電体膜の厚さは、 $100\sim 1500\mu\text{m}$ がより好ましい。

【0042】また、上記気孔率が 5% を超えると、気孔数が増え、また、気孔径が大きくなりすぎ、その結果、気孔同士が連通しやすくなる。このような構造のセラミック誘電体膜では、耐電圧が低下してしまう。さらに、最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ を超えると、酸化物が粒子境界に存在していても、高温での耐電圧を確保できない。気孔率は、気孔が存在する場合には、0.001～3% がより好ましく、最大気孔の気孔径は、 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ がより好ましい。

【0043】上記セラミック誘電体膜中には、カーボンが $50\sim 5000\text{ppm}$ 含有されていることが望ましい。静電チャック中に設けられた電極パターンを隠蔽することができ、かつ、高放射熱が得られるからである。また、体積抵抗率が低い方が、低温域においては、シリコンウエハの吸着能力が高くなる。

【0044】なお、本発明に係る静電チャックで、セラミック誘電体膜中にある程度の気孔が存在してもよいとしているのは、破壊靱性値を高くすることができるからであり、熱衝撃性を改善することができる。

【0045】セラミック基板上に形成される静電電極としては、例えば、金属または導電性セラミックの焼結体、金属箔等が挙げられる。金属焼結体としては、タングステン、モリブデンから選ばれる少なくとも 1 種からなるものが好ましい。金属箔も、金属焼結体と同じ材質からなることが望ましい。これらの金属は比較的酸化しにくく、電極として十分な導電性を有するからである。また、導電性セラミックとしては、タングステン、モリブデンの炭化物から選ばれる少なくとも 1 種を使用することができる。

【0046】図 8 および図 9 は、他の静電チャックにおける静電電極を模式的に示した水平断面図であり、図 8

に示す静電チャック 20 では、セラミック基板 1 の内部に半円形状のチャック正極静電層 22 とチャック負極静電層 23 とが形成されており、図 9 に示す静電チャックでは、セラミック基板 1 の内部に円を 4 分割した形状のチャック正極静電層 32a、32b とチャック負極静電層 33a、33b が形成されている。また、2 枚の正極静電層 22a、22b および 2 枚のチャック負極静電層 33a、33b は、それぞれ交差するように形成されている。なお、円形等の電極が分割された形態の電極を形成する場合、その分割数は特に限定されず、5 分割以上であってよく、その形状も扇形に限定されない。

【0047】本発明に係る静電チャックで使用されるセラミック基板は、窒化物セラミック、または、炭化物セラミックからなるものが好ましい。

【0048】上記窒化物セラミックとしては、例えば、窒化アルミニウム、窒化ケイ素、窒化ホウ素、窒化チタン等が挙げられる。また、上記炭化物セラミックとしては、炭化珪素、炭化ホウ素、炭化チタン、炭化タングステン等が挙げられる。また、セラミック誘電体膜とセラミック基板とは同じ材料であることが望ましい。窒化物セラミックは熱伝導率が高く、抵抗発熱体で発生した熱を良好に伝達することができるからである。また、セラミック誘電体膜とセラミック基板とが同じ材料である場合、同じ方法で作製したグリーンシートを積層し、同一条件で焼成することにより、容易に静電チャックを製造することができるからである。また、窒化物セラミックの中では窒化アルミニウムが最も好適である。熱伝導率が $180 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ と最も高いからである。

【0049】上記セラミック基板中には、カーボンを 50~5000 ppm 含むことが望ましい。高放射熱が得られるからである。カーボンとしては、X 線回折で検出可能な結晶質または検出不能な非晶質の一方を用いてもよく、結晶質および非晶質の両方を用いてもよい。

【0050】本発明に係る静電チャックでは、通常、図 1 に示したように、抵抗発熱体等の温度制御手段が設けられている。静電チャック上に載置したシリコンウエハの加熱等を行いながら、CVD 処理等を行う必要があるからである。

【0051】上記温度制御手段としては、図 3 に示した抵抗発熱体 5 のほかに、ペルチェ素子（図 6 参照）が挙げられる。抵抗発熱体は、セラミック基板の内部に設けてもよく、セラミック基板の底面に設けてもよい。抵抗発熱体を設ける場合は、静電チャックを嵌め込む支持容器に、冷却手段としてエアー等の冷媒の吹きつけ口などを設けてもよい。

【0052】抵抗発熱体をセラミック基板の内部に設ける場合には、複数層設けてもよい。この場合は、各層のパターンは相互に補完するように形成されて、加熱面からみるとどこかの層にパターンが形成された状態が望ましい。例えば、互いに千鳥の配置になっている構造であ

る。

【0053】抵抗発熱体としては、例えば、金属または導電性セラミックの焼結体、金属箔、金属線等が挙げられる。金属焼結体としては、タングステン、モリブデンから選ばれる少なくとも 1 種が好ましい。これらの金属は比較的酸化しにくく、発熱するに十分な抵抗値を有するからである。

【0054】また、導電性セラミックとしては、タングステン、モリブデンの炭化物から選ばれる少なくとも 1 種を使用することができる。さらに、セラミック基板の底面に抵抗発熱体を形成する場合には、金属焼結体としては、貴金属（金、銀、パラジウム、白金）、ニッケルを使用することが望ましい。具体的には銀、銀-パラジウムなどを使用することができる。上記金属焼結体を使用される金属粒子は、球状、リン片状、もしくは球状とリン片状の混合物を使用することができる。

【0055】金属焼結体中には、金属酸化物を添加してもよい。上記金属酸化物を使用するのは、セラミック基板と金属粒子を密着させるためである。上記金属酸化物により、セラミック基板と金属粒子との密着性が改善される理由は明確ではないが、金属粒子の表面はわずかに酸化膜が形成されており、セラミック基板は、酸化物の場合は勿論、非酸化物セラミックである場合にも、その表面には酸化膜が形成されている。従って、この酸化膜が金属酸化物を介してセラミック基板表面で焼結して一体化し、金属粒子とセラミック基板とが密着するのではないかと考えられる。

【0056】上記金属酸化物としては、例えば、酸化鉛、酸化亜鉛、シリカ、酸化ホウ素 (B_2O_3)、アルミナ、イットリア、チタニアから選ばれる少なくとも 1 種が好ましい。これらの酸化物は、抵抗発熱体の抵抗値を大きくすることなく、金属粒子とセラミック基板との密着性を改善できるからである。

【0057】上記金属酸化物は、金属粒子 100 重量部に対して 0.1 重量部以上 10 重量部未満であることが望ましい。この範囲で金属酸化物を用いることにより、抵抗値が大きくなりすぎず、金属粒子とセラミック基板との密着性を改善することができるからである。

【0058】また、酸化鉛、酸化亜鉛、シリカ、酸化ホウ素 (B_2O_3)、アルミナ、イットリア、チタニアの割合は、金属酸化物の全量を 100 重量部とした場合に、酸化鉛が 1~10 重量部、シリカが 1~30 重量部、酸化ホウ素が 5~50 重量部、酸化亜鉛が 20~70 重量部、アルミナが 1~10 重量部、イットリアが 1~50 重量部、チタニアが 1~50 重量部が好ましい。但し、これらの合計が 100 重量部を超えない範囲で調整されることが望ましい。これらの範囲が特にセラミック基板との密着性を改善できる範囲だからである。

【0059】抵抗発熱体をセラミック基板の底面に設ける場合は、抵抗発熱体 15 の表面は、金属層 150 で被

10

20

30

40

50

覆されていることが望ましい（図4参照）。抵抗発熱体15は、金属粒子の焼結体であり、露出していると酸化しやすく、この酸化により抵抗値が変化してしまう。そこで、表面を金属層150で被覆することにより、酸化を防止することができるのである。

【0060】金属層150の厚さは、0.1~10 μ mが望ましい。抵抗発熱体の抵抗値を変化させることなく、抵抗発熱体の酸化を防止することができる範囲だからである。被覆に使用される金属は、非酸化性の金属であればよい。具体的には、金、銀、パラジウム、白金、10 ニッケルから選ばれる少なくとも1種以上が好ましい。なかでもニッケルがさらに好ましい。抵抗発熱体には電源と接続するための端子が必要であり、この端子は、半田を介して抵抗発熱体に取り付けるが、ニッケルは半田の熱拡散を防止するからである。接続端子としては、コバール製の端子ピンを使用することができる。

【0061】なお、抵抗発熱体をヒータ板内部に形成する場合は、抵抗発熱体表面が酸化されることがないため、被覆は不要である。抵抗発熱体をヒータ板内部に形成する場合、抵抗発熱体の表面の一部が露出しているもよい。

【0062】抵抗発熱体として使用する金属箔としては、ニッケル箔、ステンレス箔をエッチング等でパターン形成して抵抗発熱体としたものが望ましい。パターン化した金属箔は、樹脂フィルム等ではり合わせてもよい。金属線としては、例えば、タングステン線、モリブデン線等が挙げられる。

【0063】温度制御手段としてベルチェ素子を使用する場合は、電流の流れる方向を変えることにより発熱、冷却両方行うことができるため有利である。ベルチェ素子8は、図6に示すように、p型、n型の熱電素子81を直列に接続し、これをセラミック板82などに接合させることにより形成される。ベルチェ素子としては、例えば、シリコン・ゲルマニウム系、ビスマス・アンチモン系、鉛・テルル系材料等が挙げられる。

【0064】本発明に係る静電チャックとしては、例えば、図1に示すように、セラミック基板1とセラミック誘電体膜4との間にチャック正極静電層2とチャック負極静電層3とが設けられ、セラミック基板1の内部には抵抗発熱体5が設けられた構成の静電チャック101、図4に示すように、セラミック基板1とセラミック誘電体膜4との間にチャック正極静電層2とチャック負極静電層3とが設けられ、セラミック基板1の底面に抵抗発熱体15が設けられた構成の静電チャック201、図5に示すように、セラミック基板1とセラミック誘電体膜4との間にチャック正極静電層2とチャック負

極静電層3とが設けられ、セラミック基板1の底面に熱電素子81とセラミック板82からなるベルチェ素子8が形成された構成の静電チャック401等が挙げられる。

【0065】本発明に係る静電チャックでは、図1~6に示したように、セラミック基板1とセラミック誘電体膜4との間にチャック正極静電層2とチャック負極静電層3とが設けられ、セラミック基板1の内部に抵抗発熱体5や金属線7が形成されているため、これらと外部端子とを接続するための接続部（スルーホール）16、17が必要となる。スルーホール16、17は、タングステンペースト、モリブデンペーストなどの高融点金属、タングステンカーバイド、モリブデンカーバイドなどの導電性セラミックを充填することにより形成される。

【0066】また、接続部（スルーホール）16、17の直径は、0.1~10mmが望ましい。断線を防止しつつ、クラックや歪みを防止できるからである。このスルーホールを接続パッドとして外部端子ピン6、18を接続する（図7（d）参照）。

【0067】接続は、半田、ろう材により行う。ろう材としては銀ろう、パラジウムろう、アルミニウムろう、金ろうを使用する。金ろうとしては、Au-Ni合金が望ましい。Au-Ni合金は、タングステンとの密着性に優れるからである。

【0068】Au/Niの比率は、〔81.5~82.5（重量%）〕/〔18.5~17.5（重量%）〕が望ましい。Au-Ni層の厚さは、0.1~50 μ mが望ましい。接続を確保するに充分な範囲だからである。また、10⁻⁸~10⁻⁵Paの高真空で500~1000℃の高温で使用するとAu-Cu合金では劣化するが、Au-Ni合金ではこのような劣化がなく有利である。また、Au-Ni合金中の不純物元素量は全量を100重量部とした場合に1重量部未満であることが望ましい。

【0069】本発明のセラミック基板では、必要に応じて、セラミック基板1の有底孔11に熱電対を埋め込んでおくことができる。熱電対により抵抗発熱体の温度を測定し、そのデータをもとに電圧、電流量を変えて、温度を制御することができるからである。熱電対の金属線の接合部位の大きさは、各金属線の素線径と同一か、もしくは、それよりも大きく、かつ、0.5mm以下がよい。このような構成によって、接合部分の熱容量が小さくなり、温度が正確に、また、迅速に電流値に変換されるのである。このため、温度制御性が向上して半導体ウエハの加熱面の温度分布が小さくなるのである。上記熱電対としては、例えば、JIS-C-1602（1980）に挙げられるように、K型、R型、B型、S型、E型、J型、T型熱電対が挙げられる。

【0070】図10は、以上のような構成の本発明に係る静電チャックを配設するための支持容器41を模式的

に示した断面図である。支持容器41には、静電チャック101が断熱材45を介して嵌め込まれるようになっている。また、この支持容器11には、冷媒吹き出し口42が形成されており、冷媒注入口44から冷媒が吹き込まれ、冷媒吹き出し口42を通して吸引口43から外部に出ていくようになっており、この冷媒の作用により、静電チャック101を冷却することができるようになっている。

【0071】次に、本発明に係る静電チャックの製造方法の一例を図7に示した断面図に基づき説明する。

(1) まず、窒化物セラミックのセラミックの粉体をバインダおよび溶剤と混合してグリーンシート50を得る。前述したセラミック粉体としては、例えば、窒化アルミニウムなどを使用することができ、必要に応じて、イットリアなどの焼結助剤などを加えてもよい。

【0072】なお、後述する静電電極層印刷体51が形成されたグリーンシートの上に積層する数枚または1枚のグリーンシート50'は、セラミック誘電体膜4となる層であるので、窒化物の粉末に酸化物の粉末を混合したものとす。通常、セラミック誘電体膜4の原料とセラミック基板1の原料とは、同じものを使用することが望ましい。これらは、一体として焼結することが多いため、焼成条件が同じになるからである。ただし、材料が異なる場合には、まず先にセラミック基板を製造しておき、その上に静電電極層を形成し、さらにその上にセラミック誘電体膜を形成することもできる。

【0073】また、バインダとしては、アクリル系バインダ、エチルセルロース、ブチルセロソルブ、ポリビニルアルコールから選ばれる少なくとも1種が望ましい。さらに、溶媒としては、 α -テルピネオール、グリコールから選ばれる少なくとも1種が望ましい。これらを混合して得られるペーストをドクターブレード法でシート状に成形してグリーンシート50を作製する。

【0074】グリーンシート50に、必要に応じてシリコンウエハのリフターピンを挿通する貫通孔や熱電対を埋め込む凹部を設けておくことができる。貫通孔や凹部は、パンチングなどで形成することができる。グリーンシート50の厚さは、0.1~5mm程度が好ましい。

【0075】次に、グリーンシート50に静電電極層や抵抗発熱体となる導体ペーストを印刷する。印刷は、グリーンシート50の収縮率を考慮して所望のアスペクト比が得られるように行い、これにより静電電極層印刷体51、抵抗発熱体層印刷体52を得る。印刷体は、導電性セラミック、金属粒子などを含む導体ペーストを印刷することにより形成する。

【0076】これらの導体ペースト中に含まれる導電性セラミック粒子としては、タングステンまたはモリブデンの炭化物が最適である。酸化しにくく、熱伝導率が低下しにくいからである。また、金属粒子としては、例えば、タングステン、モリブデン、白金、ニッケルなどを

使用することができる。

【0077】導電性セラミック粒子、金属粒子の平均粒子径は0.1~5 μ mが好ましい。これらの粒子は、大きすぎても小さすぎても導体ペーストを印刷しにくいからである。このようなペーストとしては、金属粒子または導電性セラミック粒子85~97重量部、アクリル系、エチルセルロース、ブチルセロソルブおよびポリビニルアルコールから選ばれる少なくとも1種のバインダ1.5~10重量部、 α -テルピネオール、グリコール、エチルアルコールおよびブタノールから選ばれる少なくとも1種の溶媒を1.5~10重量部混合して調製した導体ペーストが最適である。さらに、パンチング等で形成した孔に、導体ペーストを充填してスルーホール印刷体53、54を得る。

【0078】次に、図7(a)に示すように、印刷体51、52、53、54を有するグリーンシート50と、グリーンシート50'とを積層する。抵抗発熱体形成側に印刷体を有さないグリーンシート50'を積層するのは、スルーホールの端面が露出して、抵抗発熱体形成の際に酸化してしまうことを防止するためである。もしスルーホールの端面が露出したまま、抵抗発熱体形成の焼成を行うのであれば、ニッケルなどの酸化しにくい金属をスパッタリングする必要があり、さらに好ましくは、Au-Niの金ろうで被覆してもよい。

【0079】(2) 次に、図7(b)に示すように、積層体の加熱および加圧を行い、グリーンシートおよび導体ペーストを焼結させる。加熱温度は、1000~2000 $^{\circ}$ C、加圧は100~200kg/cm²が好ましく、これらの加熱および加圧は、不活性ガス雰囲気下で行う。不活性ガスとしては、アルゴン、窒素などを使用することができる。この工程で、スルーホール16、17、チャック正極静電層2、チャック負極静電層3、抵抗発熱体5等が形成される。

【0080】(3) 次に、図7(c)に示すように、外部端子接続のための袋孔13、14を設ける。袋孔13、14の内壁は、その少なくともその一部が導電化され、導電化された内壁は、チャック正極静電層2、チャック負極静電層3、抵抗発熱体5等と接続されていることが望ましい。

【0081】(4) 最後に、図7(d)に示すように、袋孔13、14に金ろうを介して外部端子6、18を設ける。さらに、必要に応じて、有底孔11を設け、その内部に熱電対を埋め込むことができる。半田は銀-鉛、鉛-スズ、ビスマス-スズなどの合金を使用することができる。なお、半田層の厚さは、0.1~50 μ mが望ましい。半田による接続を確保するに充分な範囲だからである。

【0082】なお、上記説明では静電チャック101(図1参照)を例にしたが、静電チャック201(図4参照)を製造する場合は、静電電極層を有するセラミッ

ク板を製造した後、このセラミック板の底面に導体ペーストを印刷、焼成し、抵抗発熱体15を形成し、この後、無電解メッキ等により金属層150を形成すればよい。また、静電チャック301（図5参照）を製造する場合は、セラミック粉末中に金属箔、金属線を静電電極や抵抗発熱体にして埋め込み、焼結すればよい。さらに、静電チャック401（図6参照）を製造する場合は、静電電極層を有するセラミック板を製造した後、このセラミック板に溶射金属層を介してペルチェ素子を接合すればよい。

【0083】本発明のセラミック基板の表面および内部に導電体が配設され、上記内部の導電体が、ガード電極またはグランド電極のいずれか少なくとも一方である場合には、上記セラミック基板は、ウエハブローバとして機能する。

【0084】図11は、本発明に係るウエハブローバの一実施形態を模式的に示した断面図であり、図12は、図11に示したウエハブローバにおけるA-A線断面図である。このウエハブローバ601では、平面視円形状のセラミック基板63の表面に平面視同心円形状の溝67が形成されるとともに、溝67の一部にシリコンウエハを吸引するための複数の吸引孔68が設けられており、溝67を含むセラミック基板63の大部分にシリコンウエハの電極と接続するためのチャックトップ導体層62が円形状に形成されている。

【0085】一方、セラミック基板63の底面には、シリコンウエハの温度をコントロールするために、図3に示したような平面視同心円形状の発熱体69が設けられており、発熱体69の両端には、外部端子ピン（図示せず）が接続、固定されている。また、セラミック基板63の内部には、ストレイキャパシタやノイズを除去するために平面視格子形状のガード電極65とグランド電極66（図7参照）とが設けられている。ガード電極65とグランド電極66の材質は、静電電極と同様のものではない。

【0086】上記チャックトップ導体層62の厚さは、1～20 μm が望ましい。1 μm 未満では抵抗値が高くなりすぎて電極として働かず、一方、20 μm を超えると導体の持つ応力によって剥離しやすくなってしまいうからである。

【0087】チャックトップ導体層62としては、例えば、銅、チタン、クロム、ニッケル、貴金属（金、銀、白金等）、タングステン、モリブデンなどの高融点金属から選ばれる少なくとも1種の金属を使用することができ。

【0088】このような構成のウエハブローバでは、その上に集積回路が形成されたシリコンウエハを載置した後、このシリコンウエハにテストピンを持つプローブカードを押しつけ、加熱、冷却しながら電圧を印加して導通テストを行うことができる。なお、ウエハブローバを

製造する場合には、例えば、静電チャックの場合と同様に、初めに抵抗発熱体が埋設されたセラミック基板を製造し、その後、セラミック基板の表面に溝を形成し、続いて、溝が形成された表面部分にスパッタリングおよびメッキ等を施して、金属層を形成すればよい。

【0089】

【実施例】以下、本発明をさらに詳細に説明する。

（実施例1および比較例1）静電チャック（図1参照）の製造

- 10 （1）空气中で500℃、0、1、7時間焼成した窒化アルミニウム粉末（トクヤマ社製、平均粒径1.1 μm ）100重量部、イットリア（平均粒径：0.4 μm ）4重量部、アクリルバイнда11.5重量部、分散剤0.5重量部および1-ブタノールとエタノールとからなるアルコール53重量部を混合したペーストを用い、ドクターブレード法による成形を行って、厚さ0.47mmのグリーンシートを得た。

- 20 【0090】（2）次に、このグリーンシートを80℃で5時間乾燥させた後、パンチングにより直径1.8mm、3.0mm、5.0mmの半導体ウエハのリフターピンを挿通する貫通孔となる部分、外部端子と接続するためのスルーホールとなる部分を設けた。

- 30 【0091】（3）平均粒子径1 μm のタングステンカーバイト粒子100重量部、アクリル系バイнда3.0重量部、 α -テルピネオール溶媒3.5重量部および分散剤0.3重量部を混合して導体ペーストAを調製した。平均粒子径3 μm のタングステン粒子100重量部、アクリル系バイнда1.9重量部、 α -テルピネオール溶媒3.7重量部および分散剤0.2重量部を混合して導体ペーストBを調製した。この導体ペーストAをグリーンシートにスクリーン印刷で印刷し、導体ペースト層を形成した。印刷パターンは、同心円パターンとした。また、他のグリーンシートに図2に示した形状の静電電極パターンからなる導体ペースト層を形成した。

- 40 【0092】さらに、外部端子を接続するためのスルーホール用の貫通孔に導体ペーストBを充填した。上記処理の終わったグリーンシート50に、さらに、導体ペーストAを印刷しないグリーンシート50'を上側（加熱面）に34枚、下側に13枚積層し、その上に静電電極パターンからなる導体ペースト層を印刷したグリーンシート50を積層し、さらにその上にタングステンペーストを印刷していないグリーンシート50'を2枚積層し、これらを130℃、80kg/cm²の圧力で圧着して積層体を形成した（図7（a））。

- 50 【0093】（4）次に、得られた積層体を窒素ガス中、600℃で5時間脱脂し、1890℃、圧力0～150kg/cm²（詳細は表1）で3時間ホットプレスし、厚さ3mmの窒化アルミニウム板状体を得た。これを230mmの円板状に切り出し、内部に厚さ6 μm 、幅10mmの抵抗発熱体5および厚さ10 μm のチャッ

ク正極静電層2、チャック負極静電層3を有する窒化アルミニウム製の板状体とした(図7(b))。

【0094】(5)次に、(4)で得られた板状体を、ダイヤモンド砥石で研磨した後、マスクを載置し、SiC等によるブラスト処理で表面に熱電対のための有底孔(直径:1.2mm、深さ:2.0mm)を設けた。

【0095】(6)さらに、スルーホールが形成されている部分をえぐり取って袋孔13、14とし(図7

(c))、この袋孔13、14にNi-Auからなる金ろうを用い、700℃で加熱リフローしてコパル製の外部端子6、18を接続させた(図7(d))。なお、外部端子の接続は、タングステンの支持体が3点で支持する構造が望ましい。接続信頼性を確保することができるからである。

【0096】(7)次に、温度制御のための複数の熱電対を有底孔に埋め込み、抵抗発熱体を有する静電チャックの製造を完了した。このようにして製造した抵抗発熱体を有する静電チャックの気孔率、気孔径、耐電圧、破壊靱性値、吸着力、昇温特性、反り量を下記の方法により測定した。その結果を下記の表1および表2に示した。なお、窒化アルミニウム粉末を焼成する時間により、セラミック基板に含有される酸素量は異なっているが、その値は、表1に示している。なお、レーザフラッシュ法による熱伝導率測定では、18.0~200W/m・Kであった。

【0097】(実施例2および比較例2)静電チャック(図4参照)の製造

(1)空気中で500℃、0、1、7時間焼成した窒化アルミニウム粉末(トクヤマ社製、平均粒径1.1μm)100重量部、イットリア(平均粒径:0.4μm)4重量部、アクリルバイнда11.5重量部、分散剤0.5重量部、BNを0、3、5重量%(詳細は表3)および1-ブタノールとエタノールとからなるアルコール53重量部を混合したペーストを用い、ドクターブレード法による成形を行って、厚さ0.47mmのグリーンシートを得た。

【0098】(2)次に、このグリーンシートを80℃で5時間乾燥させた後、パンチングにより直径1.8mm、3.0mm、5.0mmの半導体ウエハのリフターピンを挿通する貫通孔となる部分、外部端子と接続するためのスルーホールとなる部分を設けた。

【0099】(3)平均粒子径1μmのタングステンカーバイト粒子100重量部、アクリル系バイнда3.0重量部、α-テルピネオール溶媒3.5重量部および分散剤0.3重量部を混合して導体ペーストAを調製した。平均粒子径3μmのタングステン粒子100重量部、アクリル系バイнда1.9重量部、α-テルピネオール溶媒3.7重量部および分散剤0.2重量部を混合して導体ペーストBを調製した。この導体ペーストAをグリーンシートにスクリーン印刷で印刷し、図9に示し

た形状の静電電極パターンからなる導体ペースト層を形成した。

【0100】さらに、外部端子を接続するためのスルーホール用の貫通孔に導体ペーストBを充填した。上記処理の終わったグリーンシートに、さらに、導体ペーストAを印刷しないグリーンシートを上側(加熱面)に1枚、下側に48枚積層し、これらを130℃、80kg/cm²の圧力で圧着して積層体を形成した。

【0101】(4)次に、得られた積層体を窒素ガス中、600℃で5時間脱脂し、1890℃、圧力0~150kg/cm²(詳細は表3)で3時間ホットプレスし、厚さ3mmの窒化アルミニウム板状体を得た。これを230mmの円板状に切り出し、内部に厚さ15μmのチャック正極静電層32a、bおよびチャック負極静電層33a、b(図9参照)を有する窒化アルミニウム製の板状体とした。

【0102】(5)上記(4)で得た板状体の底面にマスクを載置し、SiC等によるブラスト処理で表面に熱電対のための凹部(図示せず)等を設けた。

【0103】(6)次に、ウエハ載置面に対向する面(底面)に抵抗発熱体15を印刷した。印刷は導体ペーストを用いた。導体ペーストは、プリント配線板のスルーホール形成に使用されている徳力化学研究所製のソルベストPS603Dを使用した。この導体ペーストは、銀/鉛ペーストであり、酸化鉛、酸化亜鉛、シリカ、酸化ホウ素、アルミナからなる金属酸化物(それぞれの重量比率は、5/55/10/25/5)を銀100重量部に対して7.5重量部含むものであった。また、銀の形状は平均粒径4.5μmでリン片状のものであった。

【0104】(7)導体ペーストを印刷した板状体を780℃で加熱焼成して、導体ペースト中の銀、鉛を焼結させるとともにセラミック基板に焼き付けた。さらに硫酸ニッケル30g/l、ほう酸30g/l、塩化アンモニウム30g/lおよびロッシェル塩60g/lを含む水溶液からなる無電解ニッケルメッキ浴に板状体を浸漬して、銀の焼結体15の表面に厚さ1μm、ホウ素の含有量が1重量%以下のニッケル層150を析出させた。この後、板状体に、120℃で3時間アニーリング処理を施した。銀の焼結体からなる抵抗発熱体は、厚さが5μm、幅2.4mmであり、面積抵抗率が7.7mΩ/□であった。

【0105】(8)次に、セラミック基板にスルーホール16を露出させるための袋孔を設けた。この袋孔にNi-Au合金(Au81.5重量%、Ni18.4重量%、不純物0.1重量%)からなる金ろうを用い、970℃で加熱リフローしてコパル製の外部端子ピンを接続させた。また、抵抗発熱体に半田(スズ9/鉛1)を介してコパル製の外部端子ピンを形成した。

【0106】(9)次に、温度制御のための複数熱電対を凹部に埋め込み、静電チャック201を得た。このよ

うにして製造した抵抗発熱体を有する静電チャックの気孔率、気孔径、耐電圧、破壊靱性値、吸着力、昇温特性、反り量を下記の方法により測定した。その結果を下記の表3および表4に示した。なお、窒化アルミニウム粉末を焼成する時間により、セラミック基板に含有される酸素量は異なっているが、その値は、表3に示している。

【0107】(10)次に、この静電チャック201を図10の断面形状を有するステンレス製の支持容器41にセラミックファイバー（イビデン社製 商品名 イビウール）からなる断熱材45を介して嵌め込んだ。この支持容器41は冷却ガスの冷媒吹き出し口42を有し、静電チャック201の温度調整を行うことができる。この支持容器41に嵌め込まれた静電チャック201の抵抗発熱体15に通電を行って、温度を上げ、また、支持容器に冷媒を流して静電チャック201の温度を制御したが、極めて良好に温度を制御することができた。

【0108】(実施例3および比較例3) 静電チャック301（図5参照）の製造

(1) 厚さ10 μ mのタングステン箔を打抜き加工することにより図8に示した形状の電極2枚を形成した。この電極2枚とタングステン線を空気中で500℃、0.1、7時間焼成した窒化アルミニウム粉末（トクヤマ社製、平均粒径1.1 μ m）100重量部、イットリア（平均粒径0.4 μ m）4重量部とともに、アルミナ0.1、5、3.5、15重量%を成形型中に入れて窒素ガス中で1890℃、圧力0～150kg/cm²（詳細は表5）で3時間ホットプレスし、厚さ3mmの窒化アルミニウム板状体を得た。これを直径230mmの円状に切り出して板状体とした。このとき、静電電極層の厚さは、10 μ mであった。

【0109】(2)この板状体に対し、実施例1の

(5)～(7)の工程を実施し、静電チャック301を得た。このようにして製造した抵抗発熱体を有する静電チャックの気孔率、気孔径、耐電圧、破壊靱性値、吸着力、昇温特性、反り量を下記の方法により測定した。その結果を下記の表5および表6に示した。なお、窒化アルミニウム粉末を焼成する時間により、セラミック基板に含有される酸素量は異なっているが、その値は、表5に示している。

【0110】評価方法

(1) 酸素量

実施例にかかる焼結体と同条件で焼結させた試料をタングステン乳鉢で粉碎し、これの0.01gを採取して試料加熱温度2200℃、加熱時間30秒の条件で酸素・窒素同時分析装置（LECO社製 TC-136型）で測定した。

(2) セラミック誘電体膜の気孔率の測定

セラミック誘電体膜を切り出し、アミキメデス法により、気孔率を測定した。具体的には、切り出した試料を

粉末に破碎して有機溶媒中または水銀中に投入して体積を測定し、さらに予め測定した粉末の重量から真比重を測定し、これと見かけの比重から気孔率を計算した。

【0111】(3) セラミック誘電体膜の気孔径の測定
静電チャックを縦方向に数カ所切断し、切断部分の気孔について、顕微鏡でその長さを測定した。縦、横の長さが異なる場合には、最大値をとった。

(4) セラミック誘電体膜の耐電圧の評価

実施例1～3、比較例1～3で製造した静電チャックについて、静電チャック上に金属電極を載置し、静電電極層と電極との間に、電圧を印加し、絶縁破壊する電圧を測定した。

【0112】(5) 破壊靱性値

ビッカース硬度計（明石製作所社製 MVK-D型）により圧子を表面に圧入し、発生したクラック長さを測定し、これを下記の計算式に代入した。

【0113】破壊靱性値 = $0.026 \times E^{1/2} \times 0.5 \times P^{1/2} \times a \times C^{-3/2}$

Eはヤング率（ 3.18×10^{11} Pa）、Pは押し込み荷重（98 N）、aは圧痕対角線長さの半分（m）、Cはクラックの長さの平均の半分（m）である。

【0114】(6) 吸着力

ロードセル（島津製作所製 オートグラフ AGS-50A）を使用して測定した。

【0115】(7) 昇温特性

450℃まで昇温するために必要な時間を測定した。

(8) 反り量

450℃まで昇温して150kg/cm²の荷重をかけた後、25℃まで冷却し、形状測定器（京セラ社製 ナノウエイ）を用いて、反り量を測定した。

【0116】

【表1】

	酸素 (重量%)	圧力 (kgf/cm ²)	気孔率 (%)	最大気孔径 (μ m)
実施例1	1.6	150	0.05	0.1
	1.6	100	0.1	1.1
	1.6	80	1.1	2.2
	1.6	70	2.1	5.0
	1.6	50	3.3	10
	1.6	0	4.1	45
	1.6	150	限界以下	観察されず
比較例1	<0.05	100	1.0	1
	1.6	0	4.2	55
	<0.05	0	6.1	60
	6	150	1.1	1

【0117】

〔表2〕

	耐電圧 (kV/mm)			破壊靱性値 (MPa ^{1/2})	吸着力 450℃ (kg/cm ²)	昇温特性 (秒)	反り量 (μm)
	25℃	200℃	450℃				
実施例1	15	10	5	3.5	1.0	45	1
	15	10	5	3.6	1.1	46	1
	14	9	4	3.8	0.9	45	2
	14	9	3	3.5	1.0	45	2
	13	8	3	3.8	0.8	45	2
	12	5	1	3.6	0.9	50	7
	20	15	10	3.0	1.2	40	0
比較例1	2	1	0.5	3.5	絶縁破壊	45	1
	2	0.8	0.4	3.5	絶縁破壊	80	8
	2	0.5	0.1	3.5	絶縁破壊	80	8
	15	7	0.9	3.6	絶縁破壊	80	1

〔0118〕

* * 〔表3〕

	BN 量 (重量%)	酸素 (重量%)	圧力 (kgf/cm ²)	気孔率 (%)	最大気孔径 (μm)
実施例2	3	1.6	150	0.03	0.1
	3	1.6	100	0.1	1.1
	3	1.6	80	1.2	2.2
	3	1.6	70	2.1	4.9
	3	1.6	50	3.2	9
	0	1.6	0	4.3	48
	0	1.6	150	限界以下	観察されず
比較例2	3	<0.05	100	1.1	1.0
	5	1.6	0	4.1	55
	3	<0.05	0	6.2	80
	3	6	150	1.1	1.1

〔0119〕

〔表4〕

	耐電圧 (kV/mm)			破壊靱性値 (MPa $m^{1/2}$)	吸着力 450℃ (kg/cm 2)	昇温特性 (秒)	反り量 (μ m)
	25℃	200℃	450℃				
実施例 2	16	10	5	3.6	1.0	45	1
	15	10	5	3.5	1.1	46	1
	14	9	4	3.7	0.9	45	2
	13	9	3	3.5	1.0	45	2
	13	8	3	3.5	0.8	45	2
	11	5	1	3.5	0.9	50	7
	20	15	10	3.0	1.2	40	0
比較例 2	2	1	0.5	3.5	絶縁破壊	45	1
	2	0.8	0.4	3.5	絶縁破壊	80	8
	2	0.5	0.1	3.5	絶縁破壊	80	8
	15	7	0.9	3.6	絶縁破壊	80	1

【0120】

* * 【表5】

	アルミナ (重量%)	酸素 (重量%)	圧力 (kgf/cm 2)	気孔率 (%)	最大気孔径 (μ m)
実施例 3	1.5	0.7	150	0.03	0.1
	1.5	0.7	100	0.1	1.1
	1.5	0.7	80	1.2	2.2
	1.5	0.7	70	2.1	4.9
	1.5	0.7	50	3.2	10
	1.5	0.7	0	4.3	48
比較例 3	0	<0.05	150	1.1	1.0
	3.5	1.6	0	4.1	55
	0	<0.05	0	6.2	60
	15	6	150	1.1	1.1

【0121】

【表6】

	耐電圧 (kV/mm)			破壊靱性値 (MPa m ^{1/2})	吸着力 450℃ (kg/cm ²)	昇温特性 (秒)	反り量 (μm)
	25℃	200℃	450℃				
実施例3	16	10	5	3.6	1.0	55	1
	15	10	5	3.5	1.1	50	1
	14	9	4	3.7	0.9	53	2
	13	9	3	3.5	1.0	55	2
	13	8	3	3.5	0.8	51	2
	11	5	1	3.5	0.9	55	7
比較例3	2	1	0.4	3.5	絶縁破壊	45	1
	2	0.7	0.3	3.5	絶縁破壊	80	8
	2	0.5	0.1	3.5	絶縁破壊	80	8
	15	7	0.8	3.6	絶縁破壊	80	1

【0122】上記表1～6より明らかなように、実施例1～3に係る静電チャックでは、セラミック誘電体膜の耐電圧は、常温では11～20kV/mm、450℃でも1～10kV/mmと良好である。また、気孔を有する場合は、破壊靱性値も3.5MPa m^{1/2}以上を確保できる。さらに、最大気孔の気孔径を50μm以下にすることで高温での反り量を小さくすることができる。気孔を有さない場合は、耐電圧が非常に高くなり、また、反りをほぼ完全になくすることができる。

【0123】(実施例4) 静電チャック401(図6参照)の製造

実施例2の(1)～(5)の工程(表3の初段の条件)を実施した後、さらに底面にニッケルを溶射し、この後、鉛・テルル系のペルチェ素子を接合させることにより、静電チャック401を得た。このようにして製造した静電チャックは、降温特性に優れ、ペルチェ素子で冷却したところ450℃から100℃まで3分で降温した。

【0124】(実施例5) ウエハブローバ601(図11参照)の製造

(1) 空气中で500℃、1時間焼成した窒化アルミニウム粉末(トクヤマ社製、平均粒径1.1μm)100重量部、イットリア(平均粒径0.4μm)40重量部および、SiC10重量部、1-ブタノールおよびエタノールからなるアルコール530重量部を混合して得た混合組成物を、ドクターブレード法を用いて成形し、厚さ0.47mmのグリーンシートを得た。

【0125】(2) 次に、このグリーンシートを80℃で5時間乾燥させた後、パンチングにて発熱体と外部端子ピンと接続するためのスルーホール用の貫通孔を設けた。

【0126】(3) 平均粒子径1μmのタングステンカーバイド粒子100重量部、アクリル系バインダ3.0重量部、α-テルビネオール溶媒3.5重量部および分散

剤0.3重量部を混合して導体ペーストAとした。また、平均粒子径3μmのタングステン粒子100重量部、アクリル系バインダ1.9重量部、α-テルビネオール溶媒を3.7重量部、分散剤0.2重量部を混合して導体ペーストBとした。

【0127】次に、グリーンシートに、この導体ペーストAを用いたスクリーン印刷で、格子状のガード電極用印刷体、グラウンド電極用印刷体を印刷した。また、端子ピンと接続するためのスルーホール用の貫通孔に導体ペーストBを充填した。

【0128】さらに、印刷されたグリーンシートおよび印刷がされていないグリーンシートを50枚積層して130℃、80kg/cm²の圧力で一体化することにより積層体を作製した。

【0129】(4) 次に、この積層体を窒素ガス中で600℃で5時間脱脂し、1890℃、圧力150kg/cm²で3時間ホットプレスし、厚さ3mmの窒化アルミニウム板状体を得た。得られた板状体を、直径300mmの円形状に切り出してセラミック製の板状体とした。スルーホール660の大きさは、直径0.2mm、深さ0.2mmであった。

【0130】また、ガード電極65、グラウンド電極66の厚さは10μm、ガード電極65の形成位置は、ウエハ載置面から1mm、グラウンド電極66の形成位置は、ウエハ載置面から1.2mmであった。また、ガード電極65およびグラウンド電極66の導体非形成領域66aの1辺の大きさは、0.5mmであった。

【0131】(5) 上記(4)で得た板状体を、ダイヤモンド砥石で研磨した後、マスクを載置し、SiC等によるブラスト処理で表面に熱電対のための凹部およびウエハ吸着用の溝67(幅0.5mm、深さ0.5mm)を設けた。

【0132】(6) さらに、ウエハ載置面に対向する面に発熱体69を形成するための層を印刷した。印刷は導

20

30

40

50

体ペーストを用いた。導体ペーストは、プリント配線板のスルーホール形成に使用されている徳力化学研究所製のソルベストPS603Dを使用した。この導体ペーストは、銀／鉛ペーストであり、酸化鉛、酸化亜鉛、シリカ、酸化ホウ素、アルミナからなる金属酸化物（それぞれの重量比率は、5／55／10／25／5）を銀100重量部に対して7.5重量部含むものであった。また、銀の形状は平均粒径4.5 μ mでリン片状のものであった。

【0133】(7) 導体ペーストを印刷したヒータ板を780℃で加熱焼成して、導体ペースト中の銀、鉛を焼結させるとともにセラミック基板63に焼き付けた。さらに硫酸ニッケル30g/l、ほう酸30g/l、塩化アンモニウム30g/lおよびロッシェル塩60g/lを含む水溶液からなる無電解ニッケルメッキ浴にヒータ板を浸漬して、銀の焼結体69の表面に厚さ1 μ m、ホウ素の含有量が1重量%以下のニッケル層（図示せず）を析出させた。この後、ヒータ板は、120℃で3時間アニーリング処理を施した。銀の焼結体からなる発熱体は、厚さが5 μ m、幅2.4mmであり、面積抵抗率が7.7m Ω /□であった。

【0134】(8) 溝67が形成された面に、スパッタリング法により、順次、チタン層、モリブデン層、ニッケル層を形成した。スパッタリングのための装置は、日本真空技術社製のSV-4540を使用した。スパッタリングの条件は気圧0.6Pa、温度100℃、電力200Wであり、スパッタリング時間は、30秒から1分の範囲内で、各金属によって調整した。得られた膜の厚さは、蛍光X線分析計の画像から、チタン層は0.3 μ m、モリブデン層は2 μ m、ニッケル層は1 μ mであった。

【0135】(9) 硫酸ニッケル30g/l、ほう酸30g/l、塩化アンモニウム30g/lおよびロッシェル塩60g/lを含む水溶液からなる無電解ニッケルメッキ浴に、上記(8)で得られたセラミック板を浸漬し、スパッタリングにより形成された金属層の表面に厚さ7 μ m、ホウ素の含有量が1重量%以下のニッケル層を析出させ、120℃で3時間アニーリングした。発熱体表面は、電流を流さず、電解ニッケルメッキで被覆されない。

【0136】さらに、表面にシアン化金カリウム2g/l、塩化アンモニウム75g/l、クエン酸ナトリウム50g/lおよび次亜リン酸ナトリウム10g/lを含む無電解金メッキ液に、93℃の条件で1分間浸漬し、ニッケルメッキ層上に厚さ1 μ mの金メッキ層を形成した。

【0137】(10) 溝67から裏面に抜ける空気吸引孔68をドリル加工により形成し、さらにスルーホール660を露出させるための袋孔（図示せず）を設けた。この袋孔にNi-Au合金（Au81.5重量%、Ni 50

18.4重量%、不純物0.1重量%）からなる金ろうを用い、970℃で加熱リフローしてコパール製の外部端子ピンを接続させた。また、発熱体に半田（スズ90重量%/鉛10重量%）を介してコパール製の外部端子ピンを形成した。

【0138】(11) 次に、温度制御のための複数熱電対を凹部に埋め込み、ウエハブローバヒータ601を得た。

【0139】このように得られたセラミック基板は、最大気孔の気孔径が2 μ mで、気孔率が1%であった。また、セラミック基板の温度を200℃に上げ、電圧を200V印加しても絶縁破壊は生じなかった。さらに、反り量も1 μ m以下で良好であった。

【0140】〈実施例6および比較例4〉空气中で500℃、0.1、7時間焼成した炭化珪素粉末（屋久島電工製 平均粒径1.1 μ m）100重量部、カーボン4重量部、アクリルバイнда11.5重量部、分散剤0.5重量部および1-ブタノールとエタノールとからなるアルコール53重量部を混合したペーストを用い、ドクターブレード法による成形を行って、厚さ0.5mmのグリーンシートを得た。

【0141】そして、実施例1の(2)～(7)と同様の加工を行って静電チャックを製造した。なお、導体ペーストと接触する部分にガラスペーストを塗布して積層した。

【0142】このようにして製造した抵抗発熱体を有する静電チャックの気孔率、気孔径、耐電圧、破壊靱性値、吸着力、昇温特性、反り量を実施例1と同様にして測定した。その結果を下記の表7および表8に示した。なお、窒化アルミニウム粉末を焼成する時間により、セラミック基板に含有される酸素量は異なっているが、その値は、表7に示している。また、耐電圧はウエハ載置面と、静電電極との間で測定した。

【0143】

【表7】

	酸素 (重量%)	圧力 (kgf/cm ²)	気孔率 (%)	最大気孔径 (μ m)
実施例6	0.3	200	0.05	0.1
	0.3	150	0.12	1.1
	0.3	130	1.3	2.3
	0.3	120	2.0	5.1
	0.3	100	3.5	8
	0.3	0	4.5	44
	0.3	200	限界以下	観察されず
比較例4	<0.05	150	1.1	1
	1.6	0	4.3	58
	<0.05	0	6.2	63
	6	200	1.2	1

* [0144]
[表8]

10

*

	耐電圧 (kV/mm)			破壊靱性値 (MPa \cdot m ^{1/2})	吸着力 450℃ (kg/cm ²)	昇温特性 (秒)	反り量 (μ m)
	25℃	200℃	450℃				
実施例6	10	5	0.1	4.5	1.0	45	1
	10	5	0.1	4.0	1.0	46	1
	9	4	0.1	4.8	0.8	45	2
	9	4	0.08	4.5	1.0	45	2
	8	3	0.08	4.6	0.8	45	2
	7	0.1	0.08	4.6	0.9	50	7
	15	10	5	4.0	1.2	40	0
比較例4	0.01	0.01	0.01	4.5	絶縁破壊	45	1
	0.01	0.01	0.01	4.5	絶縁破壊	80	8
	0.01	0.01	0.01	4.5	絶縁破壊	80	8
	10	2	0.5	4.6	絶縁破壊	80	1

【0145】上記表7～8より明らかなように、実施例6に係る静電チャックでは、セラミック誘電体膜の耐電圧は良好である。また、破壊靱性値も4.0MPa \cdot m^{1/2}以上を確保できる。さらに、最大気孔の気孔径を50 μ m以下にすることで高温での反り量を小さくすることができる。

【0146】(実施例7および比較例5) 実施例1および比較例1の静電チャックの表面に、凹部をドリル加工で形成し、この凹部にシリコンウエハを支持するためのアルミナ製の支持ピンを形成し、シリコンウエハと上記表面との距離を100 μ mとなるように設定し、実施例7および比較例7とした。次いで、静電電極には印加せず、抵抗発熱体のみに通電して加熱し、シリコンウエハを400℃まで昇温して、シリコンウエハの表面の温度差を測定した。その結果、セラミック基板の反り量が1または0 μ mの場合では、シリコンウエハの表面温度差

は3℃であるが、反り量が8 μ mの場合は、シリコンウエハの表面の温度差は10℃にもなり、シリコンウエハの温度の均一性に乏しかった。

【0147】(試験例) 比較例1にあるように、窒化アルミニウム粉末を空気中で焼成せず、常圧焼結により、厚さ30mmの静電チャックを製造した。また、窒化アルミニウム粉末を空気中で焼成せず、常圧焼結により直径150mmの静電チャックを製造した。いずれも450℃に昇温した後でも、反り量は1 μ m以下であった。即ち、厚さが25mmを超え、直径が200mm未満のセラミック基板では、反りの問題がそもそも発生しない。また、貫通孔を形成しない静電チャックを製造したが、やはり、450℃に昇温した後の反り量は1 μ m以下であった。このように、本発明は、特に厚さが25mm以下、直径が200mm以上で貫通孔を有する半導体製造・検査装置用セラミック基板について、特に効果を

奏するものと考えられる。

【0148】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明のセラミック基板では、セラミック基板が酸素を含有する非酸化物セラミックからなり、最大気孔の気孔径が $50\mu\text{m}$ 以下と従来よりも大きくても、耐電圧を十分に大きく保つことができる。また、気孔を有するため破壊靱性値を大きくすることができ、熱衝撃に耐えられる。さらに高温での反り量も小さくできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る静電チャックの一例を模式的に示す断面図である。

【図2】図1に示した静電チャックのA-A線断面図である。

【図3】図1に示した静電チャックのB-B線断面図である。

【図4】本発明に係る静電チャックの一例を模式的に示す断面図である。

【図5】本発明に係る静電チャックの一例を模式的に示す断面図である。

【図6】本発明に係る静電チャックの一例を模式的に示す断面図である。

【図7】(a)～(d)は、本発明に係る静電チャックの製造工程の一部を模式的に示す断面図である。

【図8】本発明に係る静電チャックを構成する静電電極の形状を模式的に示した水平断面図である。

【図9】本発明に係る静電チャックを構成する静電電極の形状を模式的に示した水平断面図である。

【図10】本発明に係る静電チャックを支持容器に嵌め込んだ状態を模式的に示した断面図である。

*【図11】本発明に係るウエハブローバを模式的に示した断面図である。

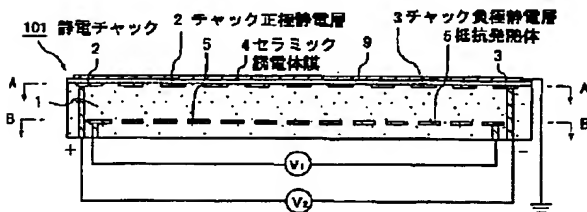
【図12】本発明に係るウエハブローバのガード電極を模式的に示した断面図である。

【図13】本発明に係るホットプレートを模式的に示した断面図である。

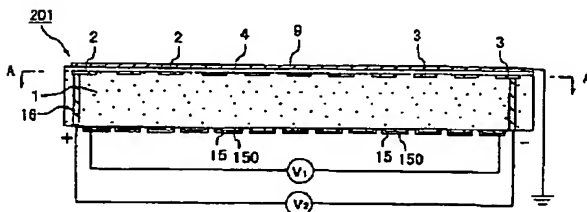
【符号の説明】

- 101、201、301、401 静電チャック
 1 セラミック基板
 10 2、22、32a、32b チャック正極静電層
 3、23、33a、33b チャック負極静電層
 2a、3a 半円弧状部
 2b、3b 櫛歯部
 4 セラミック誘電体膜
 5 抵抗発熱体
 6、18 外部端子ピン
 7 金属線
 8 ベルチェ素子
 9 シリコンウエハ
 20 11 有底孔
 12 貫通孔
 13、14 袋孔
 15 抵抗発熱体
 150 金属層
 16、17 スルーホール
 41 支持容器
 42 冷媒吹き出し口
 43 吸入口
 44 冷媒注入口
 *30 45 断熱材

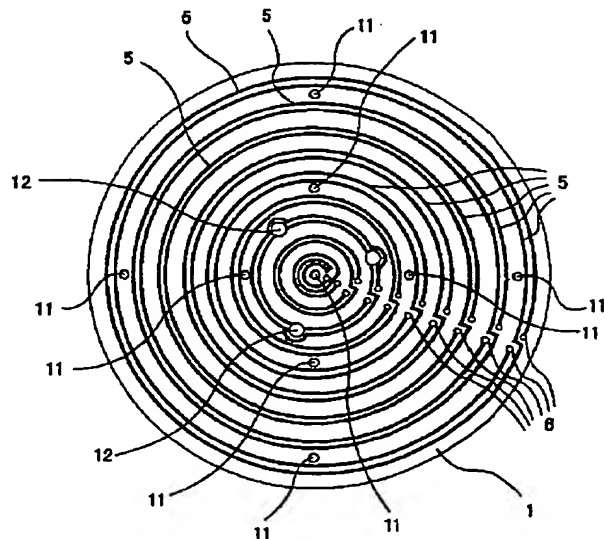
【図1】



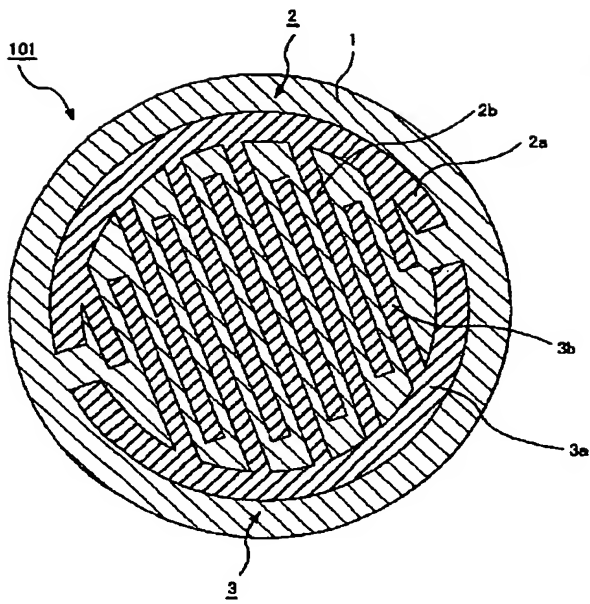
【図4】



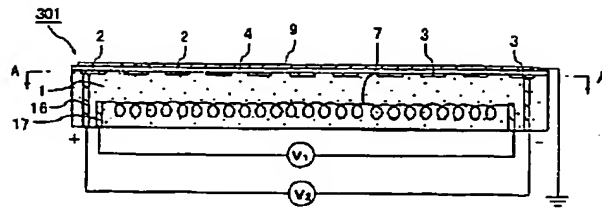
【図3】



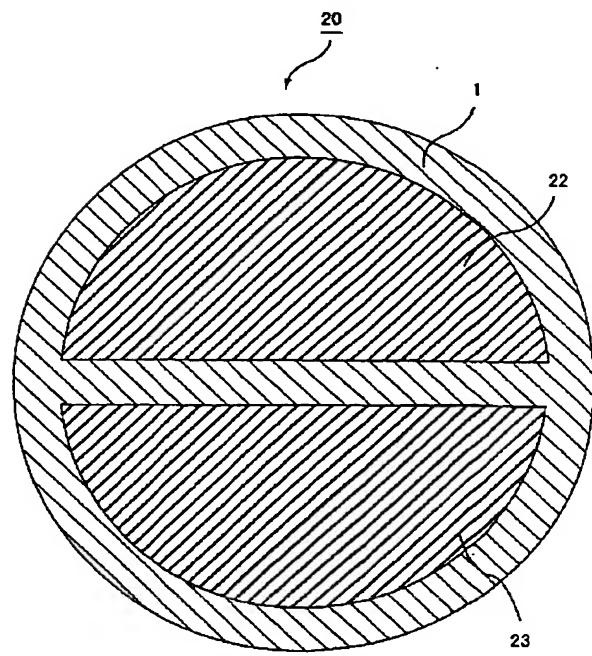
【図2】



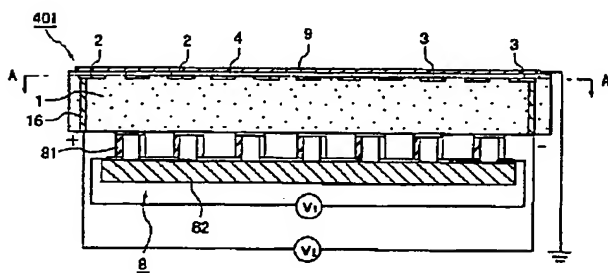
【図5】



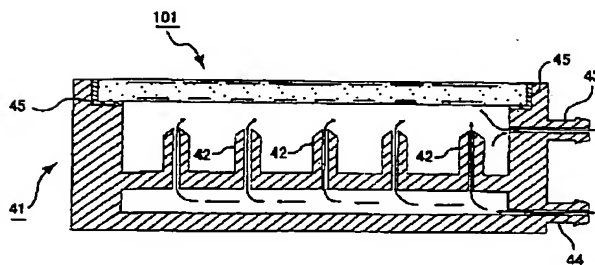
【図8】



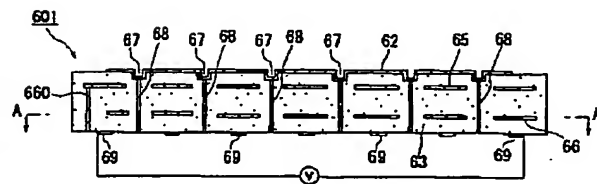
【図6】



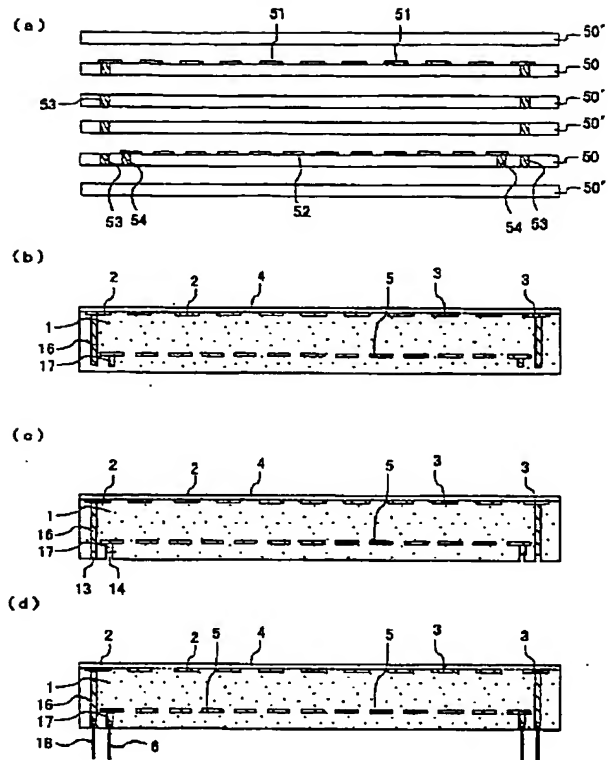
【図10】



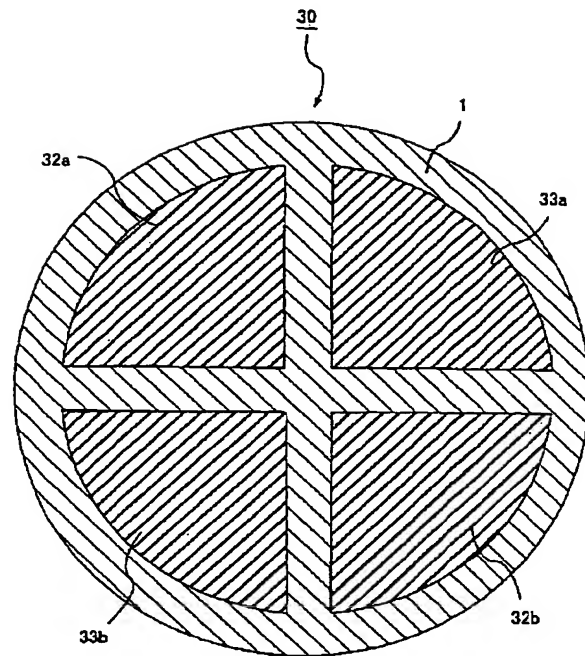
【図11】



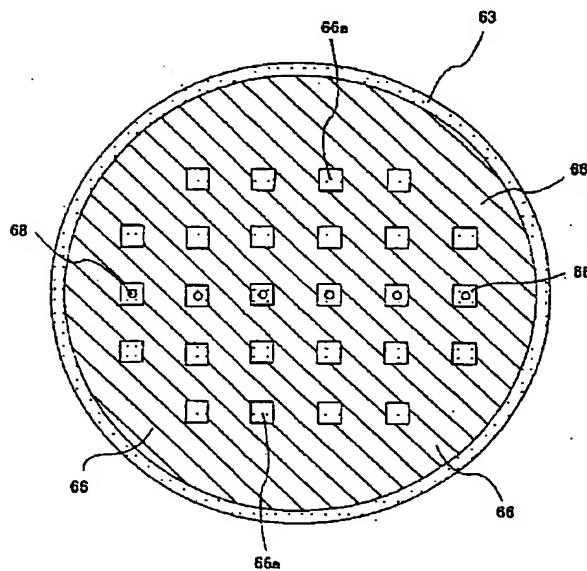
【図7】



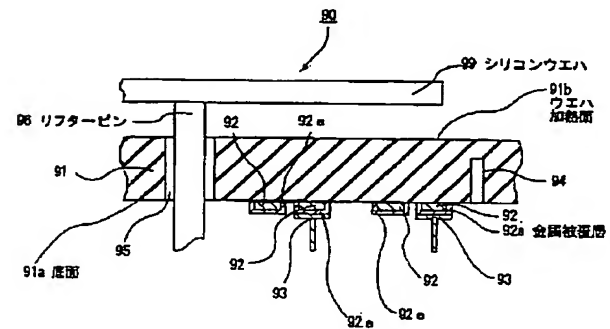
【図9】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3K034 AA02 AA10 BB06 BB14
3K092 PP20 QA05 RF03 RF11 RF19
RF22 RF27 VV31 VV34 VV40
5F031 CA02 HA02 HA16 HA17 HA18
HA33 HA37 HA38 MA28 MA33
PA18